

# Diseño de un modelo funcional de gestión soportado en servicios RESTful para gestión integrada de redes y servicios de *T-learning*

Design of a management functional model based on RESTful services for integrated management of *T-learning* networks and services

**Hebert Jair Gómez Fajardo, MBA**  
[hebertg@unicauca.edu.co](mailto:hebertg@unicauca.edu.co)

**Emigdio Andrés Lara Silva, MSc**  
[alara@unicauca.edu.co](mailto:alara@unicauca.edu.co)

*Universidad del Cauca*  
*Popayán, Colombia*

.....  
*Fecha de recepción: Mayo 15 de 2014*

*Fecha de aceptación: Junio 11 de 2014*

## Keywords

Sistemas de gestión de telecomunicaciones; gestión integrada de redes y servicios; *T-learning*; televisión digital interactiva; video en demanda; modelo funcional de gestión; interfaces de gestión RESTful.

## Palabras clave

Telecommunications management systems; Network and services integrated management; *T-learning*; interactive digital television; video on demand; functional management model; RESTful management interfaces.

## Resumen

El artículo presenta el diseño de un modelo funcional de gestión de *T-learning*, como base para la especificación de una arquitectura de gestión integrada de redes y servicios, aplicable a funciones de gestión de configuración, desempeño y fallas. Se presenta la recomendación ITU-T M.3060 como un marco de referencia válido para el diseño de una arquitectura de gestión de *T-learning*, teniendo en cuenta que contempla los principios de diseño de redes de gestión de nueva generación. Adicionalmente, propone la utilización de servicios web RESTful implementados sobre HTTP/JSON para solucionar las condiciones de heterogeneidad propias de *T-learning* y de las redes de televisión digital interactiva.

## Abstract

This paper presents the design of a management functional model for *T-learning* as a basis for the specification of the integrated management architecture of networks and services, applicable to configuration, performance and fails management. The recommendation ITU-T M.3060 is presented as a valid reference model for the design of a *T-learning* management architecture, considering that describes the principles for the design of next generation networks. In addition, the paper proposes the use of RESTful web services implemented on HTTP/JSON to overcome the heterogeneous conditions found on *T-learning* and interactive digital television networks.

**Colciencias** **1**  
**tipo**

## I. Introducción

*T-learning* se vislumbra como la tecnología de inclusión social por excelencia debido a su capacidad para llevar contenido educativo a poblaciones vulnerables, especialmente por los altos índices de penetración de la televisión, en todo el mundo, en todos los estratos sociales; el bajo costo de los decodificadores [*Set-Top-Box* o STB], en comparación con el precio de un computador; y el fácil uso de un control remoto, que resulta familiar a la mayoría de las personas.

A pesar de lo anterior, *T-learning* no cuenta con estándares de gestión definidos por los cuerpos de estandarización de las telecomunicaciones ni por la industria, situación que ha dificultado su masificación y desarrollo, especialmente debido a que las redes de *T-learning* están compuestas por una variedad muy heterogénea de recursos gestionables, correspondientes a los elementos de red y a las aplicaciones que hacen parte de la cadena de Televisión Digital Interactiva [TDi], provenientes de diferentes fabricantes y desarrollados con diferentes interfaces y procedimientos de gestión. No se han encontrado diseños ni implementaciones de un sistema de gestión integrado, centralizado, abierto y capaz de soportar nuevos recursos y servicios gestionados de *T-learning*. La falta de una arquitectura de gestión estándar dificulta la coordinación e integración de los avances y servicios desarrollados por los grupos de I+D y retrasa de manera apreciable la implementación y masificación de los servicios desarrollados.

El presente artículo propone un modelo funcional de gestión como base para el diseño de una arquitectura para gestión de configuración, desempeño y fallas, capaz de gestionar de manera integrada los recursos heterogéneos de red y servicios de *T-learning*. Adicionalmente, propone a los servicios RESTful como interfaces de comunicación de los componentes funcionales de gestión, como un mecanismo conveniente para manejar las exigencias de heterogeneidad de los recursos y la diversidad de aplicaciones de TDi en los diferentes estratos de transporte y servicio, propios de una plataforma de *T-learning*.

*T-learning* representa un nuevo horizonte para la educación, al hacer posible ofrecer materiales y herramientas de entrenamiento interactivo en un televisor, utilizando un simple decodificador digital [*Set-Top-Box*, STB]. Su campo de acción está dentro de la intersección de las tecnologías de la TDi y el *e-Learning*, a pesar de que se diferencia de esta última debido al potencial de inclusión social que representa utilizar un televisor como medio de acceso. Esta característica del *T-learning* permite alcanzar a un mayor porcentaje de la población, incluso en zonas marginadas, debido a la alta penetración de la televisión, el bajo costo de los equipos terminales requeridos en las premisas del usuario, y la familiaridad y sencillez que representa para la mayoría de las personas el uso de un televisor y su control remoto.

*T-learning* hace énfasis sobre el aprendizaje a través del edutainment (education + entertainment), de forma coherente con la consideración del televisor como medio de entretenimiento y los hábitos –tradicionalmente pasivos– de los televidentes (Sancin, Castello, Dell’Áiuto, & Di Genova, 2009).

A pesar de su potencial, algunos factores demoran la operación práctica de *T-learning*, uno de ellos, la implementación de funciones de gestión de red y de servicios de manera propietaria e independiente en los proyectos de I+D de *T-learning*, lo que complica la coordinación e integración de los diferentes grupos de investigación, demora la interoperabilidad con otras plataformas de gestión, impide la utilización de interfaces estándar hacia otros sistemas o administraciones, y obstaculiza la implementación, operación y mantenimiento de los servicios.

La complejidad inherente en la implementación de funciones de gestión de *T-learning* se deriva de la heterogeneidad propia de las redes en las cuales se soporta, caracterizadas por un estrato de servicios –donde se ubica una gran diversidad de componentes orientados a la gestión de los contenidos educativos– y un estrato de transporte independiente –que mueve los contenidos hasta el usuario final, a través de diferentes segmentos de red compuestos por diversos equipos de diferentes fabricantes.

## **II. Arquitecturas de gestión aplicables a *T-learning***

Una arquitectura de gestión es un marco que incluye todas las especificaciones necesarias para la gestión integrada en ambientes distribuidos y heterogéneos, con orientación multi-proveedor y multi-sistemas. La arquitectura de gestión provee la base para que los fabricantes o investigadores desarrollen soluciones de gestión interoperables con total independencia unos de otros (Hegering, Abeck, & Neumair, 1998).

Las arquitecturas de gestión definidas por OSI y la Oficina de Estandarización de la Unión Internacional de Telecomunicaciones [ITU-T], que son la base para las redes de gestión de telecomunicaciones [TMN], definidas en la recomendación M.3010 (ITU-T, 2000), incorporan cuatro grupos de estándares o submodelos: el modelo de información, concerniente al modelado y la especificación de la información de gestión; el modelo organizacional, que especifica los roles y las formas de cooperación entre las entidades gestoras y gestionadas; el modelo de comunicación, que define las posibilidades de comunicación de información de gestión; y el modelo funcional, que determina las posibilidades de desglosar la compleja tarea de gestión.

Con la aparición de las redes de próxima generación [*Next Generation Networks*, NGN], caracterizadas por la independencia de los estratos de servicios y transporte, y el desarrollo del protocolo IP, la ITU-T (2006) propuso, en su recomendación M.3060, un modelo para arquitecturas de gestión de redes de nueva generación, en el cual la arquitectura se conforma de cuatro representaciones funcionales, donde cada una constituye un punto de vista diferente de la arquitectura:

» representación funcional, la base para especificar las funciones a ejecutar en el

sistema de gestión;

- » representación de información, que determina la información necesaria en la comunicación entre entidades de la representación funcional;
- » representación física, que define las formas de ejecutar las funciones de gestión y con ello permite varias configuraciones y protocolos; y
- » representación de procesos empresariales, basada en eTOM y determinante durante todo el ciclo de vida del sistema de gestión.

En todos los casos, el modelo funcional se constituye en la base para especificar las funcionalidades que se deben ejecutar en un sistema de gestión de telecomunicaciones y el primer paso para determinar los modelos de comunicación y de información que conforman la arquitectura de gestión.

Con respecto a tecnologías relacionadas, como la TDi, existen algunos trabajos orientados a la gestión de video e IPTV tales como el de Lloret, Canovas, Tomas, y Atenas (2012), pero éstos están limitados a la gestión de desempeño en la capa de red, sin contemplar la gestión de los servicios u otras áreas de gestión, como la gestión de configuración o fallas; incluso, las nuevas tecnologías de telecomunicaciones orientadas a Internet presentan dificultad para ser gestionadas eficientemente, lo que permite vislumbrar la necesidad de nuevas propuestas de gestión (Paul, Pan, & Jain, 2011).

Dado que las plataformas de *T-learning* poseen una arquitectura distribuida, con capas de servicio y transporte independientes, y se soportan en el protocolo IP, se pueden clasificar dentro de las arquitecturas de redes de nueva generación y, por lo tanto, la recomendación ITU-T M.3060 puede ser usada como base para el modelo de arquitectura de gestión.

### **III. Diseño del modelo funcional de gestión de T-learning**

El presente trabajo propone el diseño de una arquitectura de gestión de *T-learning* mediante una adaptación de los conceptos y las metodologías asociadas a la definición de sistemas e interfaces de gestión de redes de telecomunicaciones estipuladas en las recomendaciones ITU-T M.3060 (2006) e ITU-T M.3020 (2011), en tres fases:

- » La primera, para determinar los requisitos de gestión, lo que corresponde, en la recomendación ITU-T M.3060, a la creación de la representación funcional de gestión, y en la recomendación ITU-T M.3020, al modelo funcional; esta fase comprende la determinación del modelo funcional, incluyendo las funciones de gestión que se deben incorporar en el sistema de gestión de *T-learning*.
- » La segunda, para proveer una especificación del modelo de comunicación, lo que corresponde, en la recomendación ITU-T M.3060, parcialmente, a la definición de la representación de información, y en la recomendación ITU-T M.3020 a lo que se estipula como fase de análisis. Esta fase busca determinar el protocolo de comunicación que se ajuste a las particularidades del modelo funcional de gestión de *T-learning*, especialmente en los aspectos relacionadas con la heterogeneidad de

sus componentes y con la gestión integrada de redes y servicios para configuración, desempeño y fallas.

- » La tercera, para verificar los modelos funcionales y de comunicación a través de un prototipo. El prototipo implementado corresponde al concepto de modelo físico de un sistema de gestión estipulado en la recomendación ITU-T M.3010 (2000) –*Telecommunications management network*– y al concepto de representación física, de la recomendación ITU-T M.3060.

La especificación del modelo funcional (primera fase) es la que define el modelo de comunicación (segunda fase); y la verificación de ambos modelos se debe realizar en un modelo físico, en este caso un prototipo, en el cual se apliquen los modelos definidos en implementaciones específicas dependientes de las tecnologías utilizadas (tercera fase).

Para la construcción del prototipo se utilizará un servicio de video en demanda [VoD] sobre una red de IPTV, considerado como uno de los servicios más representativos del *T-learning* en la actualidad, dado que permite interactividad completa y flexible entre el estudiante y los contenidos desplegados en el televisor.

El principal reto en el diseño de un modelo funcional de gestión de *T-learning* consiste en la capacidad que debe tener el sistema para realizar una gestión integrada de redes y servicios. Las aplicaciones de gestión de telecomunicaciones actuales tienden a enfocarse en segmentos específicos de la red, especialmente en la capa de elemento de red y en la capa de red, mientras que las aplicaciones relacionadas con la gestión en la capa de servicios son mucho más escasas. De forma similar, los sistemas de gestión existentes, junto con sus modelos funcionales, incluyen un subconjunto limitado de funciones de gestión y tienden a enfocarse principalmente en alguna de las áreas de gestión –configuración, desempeño o fallas–. Las tres áreas de gestión mencionadas no se encuentran desarrolladas de manera conjunta, especialmente cuando se aborda la gestión de las capas de red y de servicios. En algunos casos se encuentran aplicaciones de gestión de fallas, configuración y desempeño, pero únicamente orientadas a la capa de gestión de elemento de red, especialmente cuando se trata de elementos de red de un mismo fabricante.

Con el propósito de especificar el modelo funcional de la arquitectura de gestión de *T-learning*, teniendo en cuenta las áreas funcionales de gestión de fallas, configuración y desempeño, y su aplicación sobre los diferentes recursos gestionados de la red existente, se propone la utilización de una matriz de gestión. En ella, las columnas corresponden a los recursos gestionables de la red de *T-learning* y las filas a los conjuntos de funciones de gestión de desempeño, fallas, y configuración, mientras las intersecciones indican las funciones de gestión específicas que deben ser implementadas sobre cada recurso gestionable.

Un ejemplo de utilización de una matriz como eje central de la especificación del modelo funcional de gestión se puede encontrar en la recomendación ITU-T M.3200 (1997), en la cual se establece una matriz de áreas de gestión de telecomunicaciones y

servicios de gestión para el caso de una central de conmutación.

Combinadas, las capas de gestión y las áreas de gestión crean una matriz completa que define y describe las capacidades de gestión ofrecidas por un sistema de gestión. Esta matriz se constituye en una importante herramienta para identificar las funciones de gestión requeridas en un nuevo sistema de gestión (Terplan, 1998).

En la matriz de gestión propuesta, utilizada como base para especificar el sistema de gestión de *T-learning*, las columnas corresponden a los elementos y los servicios de la red de *T-learning* sobre los cuales se realizan las funciones de gestión definidas, discriminados de acuerdo con su ubicación en las capas de gestión de elementos de red, gestión de red y gestión del servicio. Las filas de la matriz corresponden a los conjuntos de funciones de gestión a implementar, dentro del alcance de las áreas funcionales de gestión de: desempeño, fallas y configuración, tal como se especifica en la recomendación ITU-T 3400 (2000). Las intersecciones de la matriz indican las funciones de gestión específicas que deben ser implementadas sobre cada recurso gestionable de la red de *T-learning*.

En la Tabla 1 se presenta la matriz de gestión propuesta para el servicio de VoD sobre IPTV, utilizado como ejemplo. En sus columnas se ubican los recursos gestionables de la plataforma de video en demanda, distribuidos en su correspondiente capa de gestión; y sus filas corresponden a las funciones de gestión que se van a implementar en el sistema de gestión, agrupadas según su correspondiente área funcional.

Se puede observar que una matriz de gestión de este tipo permite organizar y centrar los esfuerzos de investigación en los aspectos más relevantes de la gestión y se constituye en un marco para derivar los requerimientos de gestión de los modelos de información, de comunicación y físico, que hacen parte integral de la arquitectura de gestión.

La escogencia de los cruces de la matriz permite generar los requerimientos opcionales y obligatorios, de acuerdo con el alcance deseado para el sistema de gestión. Algunos de los criterios que se tuvieron en cuenta para la determinación de estos requerimientos fueron la relevancia para las particularidades de la tecnología de IPTV, las funciones de gestión aplicables a los recursos gestionados del servicio de VoD, las capacidades de gestión inherentes a los recursos gestionados y la relevancia investigativa de los requerimientos.

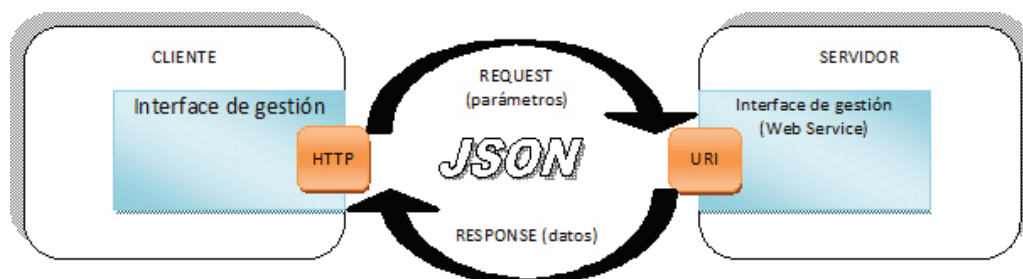
#### **IV. Modelo de comunicación para gestión de *T-learning***

Debido a que el proceso de gestión implica el monitoreo y control de recursos que generalmente se encuentran dispersos geográficamente, una parte intrínseca de éste proceso es el intercambio de información de gestión (Hegering, Abeck, & Neumair, 1998). El modelo de comunicación permite determinar cómo se da el intercambio de la información de gestión entre los diferentes conjuntos de funciones de gestión definidos en el modelo funcional. El presente trabajo propone la utilización de servicios web

**Tabla 1.** Matriz de gestión integrada para un servicio de video en demanda [VoD] sobre IPTV para T-learning

Funciones de gestión ▼	Capas de gestión ► Recursos gestionados ►	Servicio VoD	Red... de transporte	Elemento de red <i>Routers / switches</i>	<i>Set Top Box</i>	Servidor de gestión
<b>Desempeño</b>						
Configuración de parámetros de calidad de servicio.		Obligatorio		Opcional		
Políticas de monitoreo del desempeño.		Obligatorio				Obligatorio
Agregación de datos y tendencias.		Obligatorio				
Monitoreo de tráfico.		Obligatorio				
Detección, conteo, almacenamiento y reporte.		Obligatorio			Obligatorio	
Resumen de desempeño del servicio		Obligatorio				
<b>Fallas</b>						
Configuración de parámetros de calidad de servicio.		Obligatorio	Obligatorio			
Modificación del estado de las alarmas.		Obligatorio				
Resumen de alarmas.		Obligatorio				
Control de log.		Obligatorio				Obligatorio
Localización de fallas.		Opcional				
Verificación de los parámetros y conectividad.		Opcional		Obligatorio		Obligatorio
Localización de fallas de los elementos de red.				Obligatorio		
<b>Configuración</b>						
Políticas de aprovisionamiento.		Obligatorio			Obligatorio	
Auto – inventario.		Obligatorio	Opcional		Obligatorio	
Política de servicios prioritarios.		Obligatorio				Opcional
Restauración de servicios prioritarios.		Obligatorio				Opcional





**Figura 1.** Modelo de comunicación de *T-learning* basado en servicios RESTful sobre HTTP/JSON

RESTful como modelo de comunicación del sistema de gestión de *T-learning*, lo que se esquematiza en la Figura 1.

En el modelo de comunicación propuesto, todos los componentes de la plataforma de *T-learning* que actúan en el rol de cliente, que requieren consumir un servicio de gestión ofrecido por otro recurso, se comunican utilizando requerimientos HTTP (get, put, post) dirigidos a la URI [*Uniform Resource Identifier*] la cual expone los servicios del componente que ejecuta el rol de servidor. Después de ejecutar la operación de gestión solicitada el servidor retorna la respuesta correspondiente al cliente. Toda la comunicación, incluyendo los parámetros del requerimiento y los datos de la respuesta, se codifica en formato JSON.

El uso de servicios RESTful sobre HTTP/JSON provee la estandarización de los argumentos, los formatos de datos y el mecanismo de transporte de las interfaces del sistema de gestión propuesto. El bajo *overhead* de la comunicación en formato HTTP/JSON permite que pueda ser usada de manera eficiente en la gestión de los servicios de *streaming*—requeridos para *T-learning*—y en general, para la televisión digital interactiva. Algunos ejemplos se pueden observar en las interfaces RESTful de Amazon (2014), para la gestión del servicio de *streaming* de video; y en la interface de gestión HTML de la aplicación VLC (Videolan, 2014), que permite configurar el servicio de *streaming* como servidor o como cliente. Por su parte, los *Set Top Box* de desarrollo generalmente incorporan una interface HTML para su propia gestión, lo que facilita la integración con un sistema de gestión diseñado con este tipo de interfaces.

La utilización de servicios web en los sistemas de gestión integrada de redes y servicios es cada vez más frecuente, debido —principalmente— a sus ventajas para gestionar redes con componentes heterogéneos. Ejemplos de esta tendencia se pueden observar en los trabajos realizados sobre este tema por Luntovsky, Feldmann, y Schill (2008), Chang-Jun (2011), y Pras y Martin-Flatin (2007).

En comparación con el *middleware* orientado a objetos utilizado tradicionalmente en las aplicaciones de gestión basadas en CORBA o JAVA (EJB), que requieren de alto acoplamiento (*tight coupling*), los servicios Web soportan bajo acoplamiento (*loose coupling*), lo que permite que los macro-componentes de una aplicación puedan trabajar



internamente de maneras muy distintas y solo necesiten compartir sus interfaces y comunicarse a través de ellas; todo lo que pasa detrás de una interfaz se supone como de ámbito local; en contraste, en una aplicación de alto acoplamiento, los macro-componentes son internamente homogéneos (Pras & Martin-Flatin, 2007).

El bajo acoplamiento de los servicios Web facilita la interoperabilidad entre aplicaciones. Externamente, cada macro-componente de una aplicación distribuida luce como un servicio Web, aunque internamente sea parcial o totalmente propietaria. Este modelo de negocios favorece la integración de aplicaciones de diferentes fabricantes. Adicionalmente, los servicios Web pueden ser usados con muchos lenguajes de programación, sistemas operativos, plataformas de desarrollo, *middlewares* y otras tecnologías muy bien conocidas como XML y JSON, lo que hace que su desarrollo y utilización sea más sencillos y económicos que, por ejemplo, el desarrollo de aplicaciones basadas en SNMP.

## V. Prototipo

Con el propósito de corroborar la utilidad de la matriz de gestión para definir el modelo funcional de gestión integrada de redes y servicios *T-learning* para configuración, desempeño y fallas, así como la posibilidad de utilizar servicios RESTful en formato HTTP/JSON como modelo de comunicación del modelo funcional, se implementó un prototipo de sistema de gestión del servicio de VoD sobre IPTV, el cual permite corroborar:

- » la gestión integrada de redes y servicios, es decir, la capacidad de gestionar, de manera integral, las capas de gestión de: elemento de red, red y servicio, en una sola plataforma abierta;
- » la gestión integrada de configuración, desempeño y fallas, esto es la capacidad de manejar, conjuntamente, estas tres áreas de gestión;
- » la gestión de elementos de red y servicio heterogéneos, es decir, la capacidad de gestionar elementos y servicios de diferentes tipos y fabricantes; y
- » la gestión de aplicaciones de *T-learning*, lo que corresponde a la capacidad de gestionar tecnologías de *T-learning*, específicamente el servicio de VoD sobre IPTV planteado.

El diseño del prototipo prefirió utilizar conjuntos de funciones específicos para la gestión integrada de una red de TDi, especialmente en las capas de servicios, donde no existen muchas implementaciones, y en la capa de elemento de red, para el *Set Top Box*, componente característico de *T-learning*. Se eliminaron conjuntos de funciones que han sido desarrollados exhaustivamente por la industria y por otros trabajos, tales como la gestión de elementos de red de transporte IP y similares.

El servicio de VoD sobre IPTV se implementó a través de una aplicación distribuida que emula un canal de video en demanda denominado LearnTV. Mediante un *Set Top Box*, los usuarios finales del servicio acceden a través de un portal web que se despliega

en su televisor, e interactúan con el servicio a través del control remoto para pausar, retrasar o adelantar los videos que encuentran en dicho canal. Los proveedores de contenido se suscriben al canal LearnTV para tener la posibilidad de subir sus videos y que éstos queden disponibles para los usuarios del canal. La gestión para subir los videos y configurar toda la información que desean ofrecer a los usuarios la deben realizar a través de una aplicación de *Back-end* que funciona como un panel de administración de videos y contenidos. El proveedor del canal LearnTV es el operador de la red que soporta el servicio de VoD y provee las infraestructuras de transporte y gestión. La Figura 2 presenta la descripción general de los módulos que componen el prototipo de gestión implementado, los mismos que son descritos a continuación.

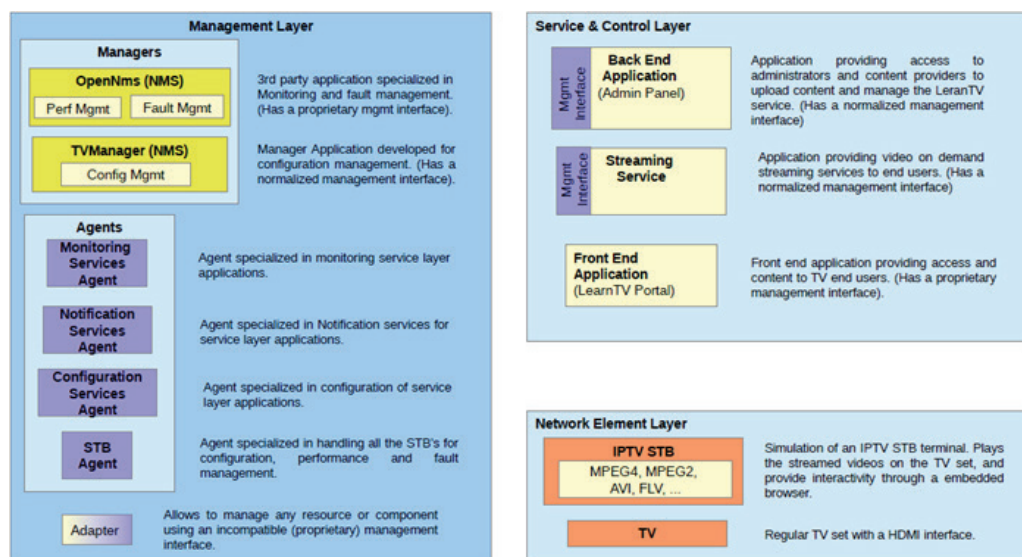


Figura 2. Diagrama general del sistema de gestión de VoD

### A. Estrato de gestión (Management layer)

- » *Gestores*. Son sistemas de gestión que generalmente se ejecutan en un servidor centralizado remoto. Para el prototipo implementado se utilizan dos gestores: el primero, corresponde a la aplicación *OpenNMS*, especializada en gestión de desempeño, monitoreo de alarmas y gestión de fallas, la cual, desde el punto de vista del prototipo de gestión implementado, se considera como una aplicación de terceros con interfaz de gestión propietaria; el segundo gestor corresponde a una aplicación denominada *TVManager*, desarrollada para gestión de la configuración, que utiliza una interface de gestión compatible con el modelo de comunicación propuesto.
- » *Agentes*. Son componentes que proveen servicios para gestionar los recursos de red y de servicio de *T-learning*. Pueden ser implementados de manera local, en el host del recurso gestionado o en un sistema de gestión remoto. Sus principales

funciones incluyen monitorear los atributos de los recursos, proveer notificaciones cuando sea necesario y proveer temporizadores para la emisión de notificaciones programadas. Los agentes no requieren conocimiento de cuáles recursos están gestionando y están orientados a los desarrolladores de sistemas de gestión, quienes no necesitan conocer el funcionamiento interno de los recursos gestionados. Para el prototipo implementado se desarrollaron los agentes que se presentan en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Agentes desarrollados para el prototipo

Agente	Rol
De servicios de monitoreo	Monitoreo de aplicaciones en el nivel de gestión del servicio
De servicios de notificación	Recepción de notificaciones emitidas por las aplicaciones en la capa de gestión de servicio
De servicios de configuración	Gestión de configuración
De gestión del <i>Set Top Box</i>	Mediador para gestión de configuración, desempeño y fallas del <i>Set Top Box</i>

- » *Adaptadores.* Son componentes que encapsulan las capacidades de gestión de los recursos gestionados y las ofrecen en una interface compatible con el modelo de información propuesto. Son componentes orientados a los desarrolladores de servicios de *T-learning*. Los componentes de mediación hacen que un recurso gestionado pueda ser gestionable por un agente compatible con el modelo de comunicación del sistema de gestión, su funcionamiento es independiente de los agentes, es decir, no requieren conocer los agentes con los cuales van a interactuar y sólo necesitan conocer los servicios ofrecidos por tales agentes.

### **B. Estrato de control y servicio (*Service and control layer*)**

- » *Aplicación de Back-end.* Es una aplicación desarrollada para el prototipo, que provee acceso a los administradores del servicio y a los proveedores de contenido que desean publicar sus videos en el canal LearnTV. Su modelo de comunicación de gestión se desarrolló de manera compatible con el sistema de gestión propuesto.
- » *Servidor de streaming.* Provee los servicios de *streaming* de video en demanda a los usuarios finales del servicio; posee una interface de gestión compatible con el modelo de comunicación propuesto.
- » *Aplicación de Front-end.* Es el portal que ven los usuarios finales del servicio para acceder al contenido *subido* por los proveedores de contenido. Es una aplicación desarrollada por terceros que no posee una interface compatible con el modelo de comunicación propuesto.

### **C. Estrato de elemento de red (*Network element layer*)**

- » *Set Top Box.* Aplicación que emula un *Set Top Box* de IPTV, para reproducir

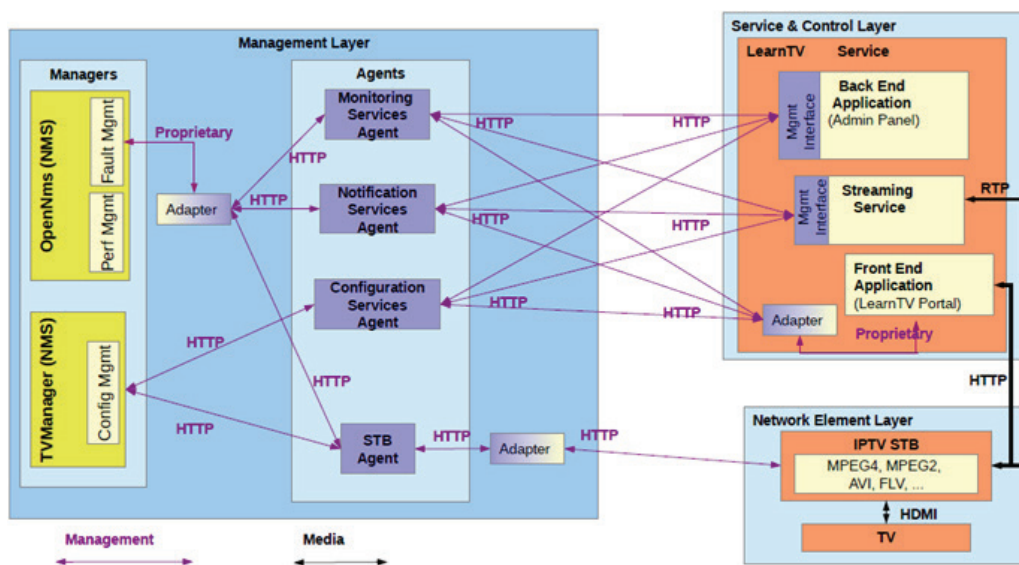


Figura 3. Agentes desarrollados para el prototipo

los videos en el televisor; permite la interactividad a través de un browser. La Figura 3 muestra la arquitectura del prototipo del servicio de VoD sobre IPTV implementado.

Toda la comunicación de gestión entre los componentes del prototipo se realiza a través de servicios RESTful utilizando el protocolo HTTP y codificando la información de gestión en formato JSON. Los componentes que poseen interfaces de gestión propietarias, es decir, que no soportan el modelo de comunicación propuesto, deben interconectarse a través de un adaptador, como es el caso del sistema de gestión OpenNMS, el *Set Top Box* y la aplicación de *Front-end*.

La Figura 4 describe la implementación del servicio de VoD sobre IPTV. Todo el prototipo se ejecutó sobre un mismo PC corriendo sobre Ubuntu Linux. Los agentes de gestión, los adaptadores, y la aplicación de *Back-end* se desarrollaron en PHP corriendo sobre un servidor web Apache. Como aplicación de *Front-end* para la reproducción de videos en el televisor, se utilizó la aplicación Wordpress. El adaptador para la aplicación de OpenNMS se implementó mediante un script de Linux que adapta las notificaciones al formato propietario requerido por OpenNMS. El *Set Top Box* se emuló mediante un browser y la aplicación de VLC como cliente y servidor de *streaming*. El acceso a la base de datos del sistema de gestión en MySQL se realizó a través de servicios RESTful implementados en Java, corriendo en un servidor Glassfish. Se utilizó el disco duro del computador como repositorio de los videos a reproducir.

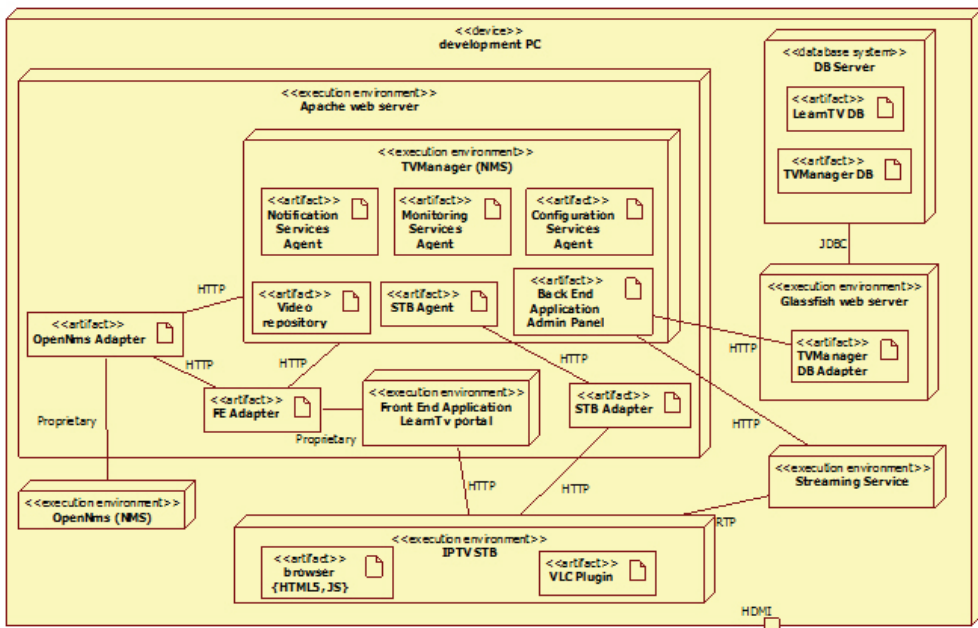


Figura 4. Diagrama de implementación del servicio de VoD

## VI. Resultados

El prototipo implementado permitió concluir que la utilización de una matriz de gestión que combina los recursos gestionados y las funciones de gestión como base principal del diseño del modelo funcional de gestión de *T-learning*, utilizando servicios de comunicación RESTful implementados en HTTP/JSON como modelo de comunicación entre los componentes del sistema, permite realizar una gestión integrada de redes y servicios de *T-learning* para propósitos de gestión de configuración, desempeño y fallas, en una sola plataforma conformada por diferentes recursos gestionados, implementados con diferentes tecnologías.

La aplicación de *Front-end* permitía ejecutar funciones de gestión de desempeño, configuración o fallas, tanto de elementos de red como de servicios a través de URI asignadas a los diferentes componentes. Desde esta aplicación se hizo posible monitorear el estado del *Set Top Box* (gestión de elemento de red), programado para proveer información de su configuración a través de una URI específica. Adicionalmente, los proveedores de contenido pudieron realizar labores de configuración del servicio mediante una función que permitía subir videos al repositorio del sistema (gestión de servicio), los cuales automáticamente se configuraban en la aplicación de *Front-end* a través de las URI para creación de post desarrolladas para esta aplicación.

La gestión integrada de desempeño y fallas se delegó en la aplicación OpenNMS. El adaptador desarrollado para OpenNMS convertía las notificaciones emitidas por diferentes componentes del sistema al formato de notificación requerido por dicha

aplicación (send-event.pl). De esta manera fue posible desplegar, por ejemplo, un mensaje de alarma cada vez que un usuario realizaba un intento fallido de acceso a la aplicación de *Back-end*. Este adaptador permitía enviar notificaciones de cualquier evento que se quisiera desplegar en el panel de OpenNMS sin importar su origen.

Adicionalmente, las operaciones CRUD [create, read, update y delete], requeridas en la base de datos del servicio de VoD, se realizaron a través de servicios RESTful desarrollados en Java, lo que permitió que cualquier componente del sistema pudiera acceder a ellas para propósitos de gestión.

La utilización de interfaces RESTful implementadas en HTTP/JSON permitió la comunicación de gestión de los diversos componentes desarrollados incluyendo aplicaciones en PHP desplegadas en un servidor Apache, aplicaciones Java sobre Glassfish, scripts del sistema operativo, aplicaciones de terceros como OpenNMS, y *browsers*, que conformaron un sistema bastante heterogéneo, similar a las condiciones encontradas en una implementación comercial de *T-learning*.

## Conclusiones y trabajo futuro

*T-learning* puede considerarse como una red de nueva generación, al tener un estrato de servicios independiente del estrato de transporte y utilizar el protocolo IP como base de la comunicación entre sus diferentes componentes. Por esta razón, la recomendación ITU-T M.3060 se constituye en un marco de referencia válido para el diseño de una arquitectura de gestión de *T-learning*, teniendo en cuenta que contempla los principios de diseño de redes de gestión de nueva generación. La arquitectura de gestión de *T-learning*, puede entonces especificarse mediante un modelo funcional de gestión, un modelo de información y un modelo físico.

La matriz de gestión se constituye en una herramienta válida para la definición del modelo funcional de gestión, permitiendo integrar las funciones de gestión que se realizarán sobre la red y los servicios de *T-learning*. La matriz de gestión permite que desde la concepción inicial del sistema se integren los requerimientos de gestión integrada de redes y servicios para configuración, desempeño y fallas, en una misma plataforma de gestión.

Adicionalmente, se pudo verificar que la utilización de servicios web RESTful implementados sobre HTTP/JSON permiten solucionar los inconvenientes de heterogeneidad de los componentes de una plataforma de *T-learning*.

Finalmente, los mismos principios estipulados pueden usarse para el diseño de la arquitectura de gestión de otros servicios modernos de telecomunicaciones que se pueden enmarcar dentro del concepto de redes de nueva generación.

Existen varios tópicos que deben tenerse en cuenta en posteriores trabajos orientados al diseño de una arquitectura completa de gestión para *T-learning*,



tales como el proceso de especificación del modelo de información de gestión de *T-learning*, la definición de esquemas dinámicos para la publicación y consumo de los servicios web y la posibilidad de establecer de manera dinámica las interacciones entre los componentes del sistema de gestión en tiempo de ejecución. Entre ellos, se destaca la importancia de definir el modelo de información de gestión que define los formatos de información y la comunicación abierta, interoperable y adaptable, de todos los recursos y servicios de la red. El modelo de información, que está estrechamente relacionado con el modelo de comunicación y el modelo funcional, garantiza la interoperabilidad de gestión de los diversos componentes y servicios de *T-learning* puesto que establece la organización de la información de gestión de los recursos gestionados y permite abstraer sus capacidades de gestión para que puedan ser expuestas en las interfaces RESTful mencionadas en el presente trabajo. Además, permite especificar los modelos de interacción entre las funciones definidas en el modelo funcional de gestión que pueden ser *peer-to-peer* o de tipo consumidor/proveedor, obedeciendo distintos patrones de comunicación propios de los sistemas de gestión de telecomunicaciones. *ST*

## Referencias bibliográficas

- Amazon (2014, mayo). *Media streaming tutorials*. Recuperado de <http://aws.amazon.com/cloudfront/streaming/>
- Chang-Jun, H. (2011). The research of next generation internet management based on xml. *Energy Procedia*, 13, 9790-9796
- Sancin, C., Castello, V., DellÁiuto, V., & Di Genova, D. (2009). *T-learning for social inclusion*. *eLearning Papers*, 12. Recuperado de <http://www.openeducationeuropa.eu/en/article/T-learning-for-social-inclusion?paper=57408>
- Hegering, H., Abeck, S., & Neumair, B. (1998). *Integrated management of networked systems*. San Francisco, CA: Morgan Kaufmann
- Lloret, J., Canovas, A., Tomas, J., & Atenas, M. (2012). A network management algorithm and protocol for improving QoE in mobile IPTV. *Computer Communications*, 35(15), 1855-1870
- Luntovskyy, A., Feldmann, M., & Schill, A. (2008). Web services based network management. *Electronics and Communications, Special Issue - Problems of Electronics (Part 1)*, 176-184
- Pras, A., & Martin-Flatin, J. (2007). What Can Web Services Bring to Integrated Management? En J. B. Burgess, *Handbook of network and system administration* (pp. 241-294). Amsterdam, The Netherlands: Elsevier
- Paul, S., Pan, J., & Jain, R. (2011). Architectures for the future networks and the next generation Internet: A survey. *Computer Communications*, 34(1), 2-42



- Terplan, K. (1998). Telecom operations management solutions with NetExpert. Boca Raton, FL: CRC
- The OpenNMS Group. (s.f). About OpenNMS. Recuperado de <http://www.opennms.org/about/>
- International Telecommunications Union [ITU]. (2000). Recomendación ITU-T M3010. *Principles for a telecommunications management network*. Ginebra, Suiza: ITU
- International Telecommunications Union [ITU]. (1997). Recomendación ITU-T M3200. TMN management services and telecommunications managed areas: overview. Ginebra, Suiza: ITU
- International Telecommunications Union [ITU]. (2000). Recomendación ITU-T M3400. TMN management services and telecommunications managed areas: overview. Ginebra, Suiza: ITU
- International Telecommunications Union [ITU]. (2011). Recomendación ITU-T M3020. Management interface specification methodology. Ginebra, Suiza: ITU
- International Telecommunications Union [ITU]. (2006). Recomendación ITU-T M3060. Principles for the Management of Next Generation Networks. Ginebra, Suiza: ITU
- Videolan. (s.f). *Chapter 5. The HTTP interface*. Recuperado de <http://www.videolan.org/doc/vlc-user-guide/en/ch05.html>

## ***Curriculum vitae***

### **Hebert Jair Gómez Fajardo**

Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones (1995) de la Universidad del Cauca, Magíster en Administración de Empresas de la Universidad Icesi y Tulane University (2000). Trabajó en las Empresas Municipales de Cali entre 1996 y 2005. Trabajó como Gerente Regional en Huawei Technologies Co. LTD., entre 2005 y 2013. Es candidato al título de Magíster en Ingeniería Telemática de la Universidad del Cauca. Sus áreas de interés son T-learning y Gestión de Redes de Nueva Generación.

### **Emigdio Andrés Lara Silva**

Profesor titular de la Universidad del Cauca. Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones (1995) de la Universidad del Cauca y Magíster en Ingeniería Eléctrica con énfasis en Comunicaciones de la Universidad de los Andes (2000). Fue investigador del ITEC-Telecom entre 1995 y 2002. Fue Director del Instituto de Posgrados de Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad del Cauca entre 2003 y 2012. Actualmente se desempeñan como Jefe del Departamento de Telemática de la Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones. Sus áreas de interés son: Redes de datos, Tecnologías de acceso y Gestión de redes de telecomunicaciones.